



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# Patentschrift

## DE 197 41 609 C 2

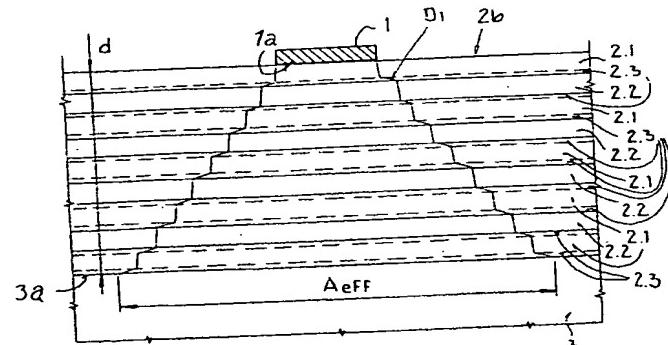
⑮ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 01 L 33/00

DE 197 41 609 C 2

- ㉑ Aktenzeichen: 197 41 609.8-33
- ㉒ Anmelddatum: 20. 9. 1997
- ㉓ Offenlegungstag: 1. 4. 1999
- ㉔ Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 27. 2. 2003

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

- |  |   |
|--|---|
| <p>㉕ Patentinhaber:<br/>Vishay Semiconductor GmbH, 74072 Heilbronn, DE</p> <p>㉖ Vertreter:<br/>Manitz, Finsterwald &amp; Partner GbR, 80336 München</p> <p>㉗ Erfinder:<br/>Geng, Christian, Dr., 74080 Heilbronn, DE; Gerner, Jochen, 69168 Wiesloch, DE</p> <p>㉘ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:<br/>US 55 50 391 A<br/>US 51 32 750 A<br/>EP 04 34 233 B1<br/>EP 05 51 001 A1<br/>"Jap.J. of Appl.Phys." 33 (1994) S. 1268-1274;<br/>"Appl.Phys.Lett." 68 (1996) 2383-2385;<br/>BLUDAU, W.: "Halbleiter-Optoelektronik"<br/>C. Hanser-V., München (1995) 188-189;</p>   | <p>Sugowara et al., Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 31, (1992), S. 2446-2451;<br/>Huang et al., Appl. Phys. Letters 61(9), 1992, S. 1045 ff;<br/>Lin et al., Electronics Letters, Vol. 30, No. 21 (1994), S. 1793 f;<br/>Ibach, Lüth: Festkörperphysik - Einführung und Grundlagen, 4. Aufl. 1995, Springer Verlag, S. 368 ff;<br/>Bergmann, Schaefer: Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. 6 - Festkörper, Hrsg. Raith, Verlag Walter de Gruyter 1992, S. 564;<br/>Geng, Christian: Spontane Mischkristallordnung in AlGalnP-Lasterstrukturen, Shaker Verlag Aachen, 1979, Kap. 6, S. 95 ff;<br/>DeLagebeaudent, Linh.: IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-29, No. 6, 1982, S. 955 ff;<br/>Murtaza et al.: IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 31, No. 10, 1995, S. 1819 ff;</p> |
| <p>㉙ Verwendung einer Übergitterstruktur aus einer Mehrzahl von hintereinander angeordneten Heterogrenzflächenschichtfolgen zur Verbesserung der lateralen Stromausbreitung in einer lichtemittierenden Halbleiterdiode</p> <p>㉚ Verwendung einer Übergitterstruktur (2b) aus einer Mehrzahl von hintereinander angeordneten Heterogrenzflächenschichtfolgen zur Herstellung einer lichtemittierenden Halbleiterdiode (LED) mit verbesserter lateraler Stromausbreitung zwischen einer Stromaustrittsfläche (1a) eines Frontkontakte (1) und einer parallel dazu angeordneten Wirkfläche (3a) einer optisch aktiven Schicht (3), wobei die Stromaustrittsfläche (1a) kleiner als die Wirkfläche (3a) ist und jede aus zwei Halbleiterschichten (2.1, 2.2) bestehende Heterogrenzflächenschichtfolge eine ausreichende Banddiskontinuität mit einer Anreicherungszone (2.3) für die Majoritätsladungsträger zur Bildung eines lateralen Stromkanals (2.3) in einer der die Heterogrenzflächenschichtfolge bildenden Halbleiterschicht (2.1) aufweist und die Bandabstände der Heterogrenzflächenschichtfolgen ein höheres Energieniveau aufweiten als die optisch aktive Schicht (3).</p> |   |



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft die Verwendung einer Übergitterstruktur aus einer Mehrzahl von hintereinander angeordneten Heterogrenzflächenschichtfolgen zur Verbesserung der lateralen Stromausbreitung in einer lichtemittierenden Halbleiterdiode (LED).

[0002] Die laterale Stromausbreitung von einer kleineren Ausgangs- hin zu einer Wirkfläche im Halbleitermaterial ist ein bekanntes Problem, bei dem bspw. in einer aktiven Wirkfläche einer LED eine möglichst gleichmäßige und sich auf die gesamte Wirkfläche erstreckende Stromverteilung erzielt werden soll. Die Stromaustrittsfläche, also die Fläche, aus welcher der Strom austritt, kann die Berührungsfläche eines Kontaktspitzen oder einer damit in Verbindung stehenden Metallisierungsschicht bspw. auf der Oberseite einer Halbleiterdiode sein. Die Ausgangsfläche wird dabei meist über einen Bonddraht kontaktiert. Die Stromdichte direkt unter der Kontaktfläche ist am höchsten. Da jedoch die Kontaktfläche auch als reflektierende Blende bei für das freigesetzte Licht wirkt, ist eine gute Stromverteilung auch in die nicht von der Kontaktfläche verdeckten Bereiche der Wirkfläche anzustreben. Grundsätzlich kann das Problem der lateralen Stromausbreitung jedoch auch außerhalb von LED-Anwendungen, bspw. bei Solarzellen, auftreten und die Stromaustrittsfläche somit ein Bereich im inneren Halbleitermaterial sein.

[0003] Eine mögliche Lösung für LEDs wird in der EP 0 434 233 B1 dargestellt, indem eine relativ dicke transparente Fensterschicht mit gegenüber der aktiven Schicht geringem spezifischen Widerstand zwischen Ausgangs- und Wirkfläche angeordnet wird. Die EP 0 551 001 A1 zeigt den dabei entstehenden Effekt der quasi kegelförmig zunehmenden Stromausbreitung besonders anschaulich. Die EP 0 434 233 B1 gibt die erforderliche Dicke einer derartigen Fensterschicht mit 2 bis 30 µm an. Auch aus dem Artikel von Sugowara/Itaya/Ishikawa/Hatakoshi in Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 31 (1992), S. 2446–2451 ist ein sogenannter "current spreading layer" von 7 µm Dicke (vgl. S. 2449) sowie in Fig. 4 des Artikels die Verbesserung der Lichtausbeute deutlich zu entnehmen. Von Huang/Yu/Kuo/Fletcher/Osentowski/Stinson/Craford in Appl. Phys. Letters 61 (9), 31. August 1992, S. 1045 ff. ist ebenso eine dicke Fensterschicht zur Stromverteilung zu entnehmen, wobei in diesem Artikel eine Dicke von 15 bis 45 µm angegeben wird.

[0004] Wesentlicher Nachteil dieser dicken Fensterschichten ist die gegenüber den aktiven Schichten (Dicke < 1 µm) erhebliche Dicke der Schicht, was zu einem hohen Materialaufwand und bei herkömmlichen Maschinen zu einer sehr langen Epitaxiezeit führt. Durch entsprechend aufwendige und teure Maschinen kann die Epitaxiezeit, nicht jedoch die Kosten gedrückt werden.

[0005] Außerdem sind bspw. dem Artikel von Lin, Wu, Jou, Chang/Lee/Tsai in Electronics Letters 13. Oktober 1994, Vol. 30, No. 21 S. 1793 f. current spreader aus Indium-Tin Oxid (ITO) zu entnehmen. Die Herstellungs- und Materialkosten sind jedoch gegenüber herkömmlichen LED oder LEDs mit den eingangs erwähnten dicken Fensterschichten noch erheblich höher.

[0006] Im Stand der Technik sind darüber hinaus eine Vielzahl von Heterogrenzflächenschichtfolgen grundsätzlich bekannt. So weisen die US 5,132,750, US 5,550,391, der Artikel von Wada et al., "GaAs/AlGaAs Light Emitters Fabricated on Undercut GaAs on Si" in Jpn. J. Appl. Physics, Vol. 33 (1994), S. 1268–1274 und der Artikel von Gergen et al. "Polarization effect in light emitting diodes with ordered GaInP active layers" Appl. Phys. Lett. 68 (17), 11996, S. 2383–2385 Heterogrenzflächenschichtfolgen zu

verschiedenen Funktionen, insbesondere als Übergangsschichten oder zur Gitteranpassung auf. Die Problematik der lateralen Stromausbreitung wird dabei jedoch nicht betrachtet.

[0007] Darüber hinaus beschreibt Bludau in dem Buch "Halbleiter-Optoelektronik", Carl Hanser Verlag, München 1995, S. 188, 189 oberflächenmittigende Laser (VCSEL) die Verwendung von Heterogrenzflächenschichtfolgen als Spiegelschichten eines Interferenzspiegels zur Erzeugung des für Laser typischen Resonatorprinzips. Dabei werden in der Fig. 12-7 Strombahnen dargestellt, die von einem auf der Oberfläche außen verlaufenden Kontakt zu einer mittig angeordneten aktiven Schicht verlaufen, wobei durch seitlich der aktiven Zone und unter dem Kontakt angeordnete Isolationsgebiete, in der Fig. 12-7 als Stromeingrenzung bezeichnet, eine Einschnürung des Stromverlaufes auf die aktive Schicht erzeugt wird.

[0008] Aus der Theorie der Festkörperphysik, bspw. aus Ibach/Lüth: Festkörperphysik – Einführung und Grundlagen, 4. Aufl. 1995 Springer Verlag, S. 368 ff., insb. S. 372 f. und S. 374, ist darüber hinaus die Entstehung einer Anreicherungszone für Majoritätsladungsträger in einer Heterogrenzfläche, also zwischen zwei Halbleiterschichten unterschiedlichen Materials oder Materialmischungsverhältnissen, im Detail beschrieben. Voraussetzung ist letztlich ein durch die unterschiedlichen Materialen ergebende unterschiedlicher Bandabstand, so daß es bei Einhaltung der Kontinuitätsbedingung des Fermi-Niveaus auf der Seite der Halbleiterschicht mit geringem Bandabstand zu einer Banddiscontinuity und einer Anreicherungsraumladungszone der Majoritätsladungsträger kommt.

[0009] Die Anreicherungsraumladungszone bildet sich über die gesamte Heterogrenzfläche zwischen den zwei Halbleiterschichten aus und bei entsprechend großer Banddiskontinuität es kommt so zu einer sehr guten zweidimensionalen Beweglichkeit der Majoritätsladungsträger, was von Ibach/Lüth auch als zweidimensionales Elektronengas (vgl. Ibach/Lüth, S. 374: Ansatz waren dabei zwei unterschiedliche, n-dotierte Halbleitermaterialien) bezeichnet wird.

[0010] Die Effekte des zweidimensional frei beweglichen Elektronengases werden jedoch, wie auch aus dem Lehrbuch der Experimentalphysik von Bergmann/Schaefer, Bd. 6 – Festkörper Hrsg. Raith, Verlag Walter de Gruyter 1992 auf S. 564 deutlich wird, bisher nur in der aktiven Schicht von LEDs zur Erzielung sogenannter Potentialtöpfe auf Basis von Quanteneffekten eingesetzt, insbesondere für Multiple-Quantum-Well-Strukturen oder, wie von Ibach/Lüth auf S. 373 f. beschrieben, als modulationsdotierte Heteroübergänge in der Form eines Kompositionssübergitters, jedoch wiederum in der aktiven Schicht. Hier wird nicht die hohe Beweglichkeit des zweidimensionalen Elektronengases genutzt. Die Verwendung von Quantenfilmen dient zur Modifizierung der Zustandsdichte und bietet die Möglichkeit, daß Material pseudomorph (verspannt) herzustellen, was insbesondere in Laserdioden vorteilhaft eingesetzt werden kann, wie aus Geng, Christian: Spontane Mischkristallordnung in AlGaInP – Laserstrukturen, Shaker Verlag Aachen, 1997, Kap. 6, S. 95 ff. entnommen werden kann.

[0011] Der Effekt eines zweidimensionalen Elektronengases wird auch von Delagebeaudeuf/Linh: IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-29, No. 6, June 1982, S. 955 ff. auch für pn-Heteroübergänge bei sogenannten TEG (two-dimensional electron gas) -Fet nachgewiesen und deren Rauscharmut herausgestellt. Wie daraus für sogenannte HEMT (high electron mobility transistors) nachgewiesen wurde, kann die Beweglichkeit der Ladungsträger durch einen i-n Heteroübergang sogar noch verstärkt werden, wobei

das intrinsische Material den kleineren Bandabstand aufweisen muß. Würde das intrinsische Material mit höherem Bandabstand als das n-dotierte gewählt, kommt es zu keiner Anreicherungszone der Majoritätsladungsträger, wie anhand des bekannten Bändermodells nachvollzogen werden kann. Auch hier bei den HEMT wurde letztlich einzig der Aspekt des verbesserten Frequenzverhaltens dieser Transistoren untersucht.

[0012] Aufgabe der Erfindung ist es, eine lichtemittierende Halbleiterdiode (LED) mit verbesserter lateraler Stromausbreitung zwischen einem Frontkontakt und einer aktiven Schicht der LED anzugeben, die eine sehr gute Lichtleistung aufweist und dabei einfach und kostengünstig herstellbar ist.

[0013] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 und gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

[0014] Dazu wird der Effekt des zweidimensional frei beweglichen Elektronengases in Heterogrenzflächenschichtfolgen mit einer Anreichungszone für die Majoritätsladungsträger genutzt und zwischen der Stromaustrittsfläche und der demgegenüber größeren Wirkfläche die bekannte Übergitterstruktur aus einer Mehrzahl solcher hintereinander angeordneten Heterogrenzflächenschichtfolgen zur Verbesserung der lateralen Stromausbreitung angeordnet.

[0015] Für die Anwendung zur Stromausbreitung ist dabei eine möglichst große Banddiskontinuität im Majoritätsladungsträgerband von Vorteil, da die entstehende Anreicherungsraumladezone eine entsprechend große Menge an Majoritätsladungsträgern als quasi freies Elektronengas enthält. Wird die Banddiskontinuität im Majoritätsladungsträgerband (für p-dotierte Halbleiterschichten das Valenzband, für n-dotierte das Leitungsband) sehr gering oder gar annähernd Null, wie bei vereinzelten Heteroübergängen des Typs II der Fall, so kann aufgrund der geringen oder ganz fehlenden Diskontinuität auch keine ausreichende Anreicherung der Majoritätsladungsträger erfolgen. Die sich dabei ergebende Anreicherung der Minoritätsladungsträger ist wesentlich geringer und ohne nennenswerte Verbesserung der Stromausbreitung, wenngleich eine Wirkung im Grundsatz auch da auftritt.

[0016] Die Dotierung kann grundsätzlich sowohl isotyp als auch verschieden (p-n, p-i-n) sein. Heterogrenzschichtfolgen mit isotyper Dotierung und hoher Diskontinuität im Majoritätsladungsträgerband weisen eine sehr gute laterale Stromausbreitung auf.

[0017] Durch eine Anordnung mehrerer solcher Heterogrenzflächen hintereinander wird die Stromausbreitung natürlich verbessert. Vorteilhaft ist auch hierbei der besondere Effekt eines solchen sogenannten Übergitters, wie von Ibach/Lüth auf S. 374 für die modulationsdotierten Heterostrukturen benannt, wodurch sich die Anzahl der Anreicherungsraumladezonen der Majoritätsladungsträger um den Faktor  $2n - 1$  ( $n$  = Anzahl der Schichtpaare) erhöht, da bspw. eine oben und unten von je einer Halbleiterschicht größerem Bandabstandes umgebene Halbleiterschicht sowohl auf ihrer Ober- als auch auf ihrer Unterseite eine solche Anreicherungsraumladezone der Majoritätsladungsträger aufweist. Die Stromausbreitung wird durch eine Abfolge solcher Heterogrenzschichtfolgen wirkungsvoll verbessert.

[0018] Die Anzahl der so paarweise hintereinander angeordneten Halbleiterschichten ist vornehmlich durch den sich dabei insgesamt erhöhenden Widerstand der Gesamtanordnung begrenzt. Ein Optimum wird im Bereich zwischen 10 und 20 Schichtpaaren erwartet.

[0019] Indem man die beiden Schichten der Heterogrenzflächenschichtfolge(n) aus Materialien oder Materialgemis-

schen bildet, deren chemische atomare Grundbestandteile nicht über die chemischen atomaren Grundbestandteile hinausgehen, die auch in darunter liegenden Halbleiterschichten vorhanden sind, läßt sich die gesamte Halbleiteranordnung zusammen mit den anderen, bspw. aktiven Schichten durch entsprechende Regulierung der zugeführten Stoffe oder deren Mischungsverhältnisse, also der Komposition, in einem quasi kontinuierlichen Fertigungsprozess in einer einzigen herkömmlichen Epitaxieanlage ohne Umrüstung realisieren. Die Anforderungen an die Genauigkeit der nachfolgenden Dotierung und die den Bandabstand bestimmenden Mischungsverhältnisse sind gering.

[0020] Somit weist eine LED mit einer solchen erfundungsgemäßen Halbleiterschichtanordnung zur lateralen Stromausbreitung eine sehr gute Lichtausbeute auf und ist gleichzeitig äußerst einfach und kostengünstig herstellbar. Von einer Kontaktfläche, die der Stromaustrittsfläche entspricht, hin zur optisch aktiven Schicht wird wenigstens eine, vorzugsweise mehrere Heterogrenzflächenschichtfolge(n) angeordnet, die je aus zwei ebenfalls parallel angeordneten, isotopen Halbleiterschichten unterschiedlichen Materials oder Materialmischungsverhältnisses bestehen, welche jeweils eine Banddiskontinuität mit einer Anreichungszone für die Majoritätsladungsträger aufweisen.

[0021] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und Figuren näher erläutert.

#### Kurze Beschreibung der Figuren

- 30 [0022] Fig. 1 Darstellung der stufenförmigen Stromausbreitung in einer Heterogrenzflächenschichtfolge,
- 31 [0023] Fig. 2 kontinuierliche Stromausbreitung in einer Fenster-Halbleiterschicht gemäß dem Stand der Technik,
- 32 [0024] Fig. 3 Bändermodell und Leitfähigkeitsverlauf einer Heterogrenzflächenschichtfolge,
- 33 [0025] Fig. 4a Stromausbreitung an einer Heterogrenzschicht
- 34 [0026] Fig. 4b Diskontinuität des Bändermodells und Majoritätsladungsträgeranreicherung im Detail
- 35 [0027] Fig. 5 LED mit Fensterschicht zur Stromausbreitung gemäß dem Stand der Technik
- 36 [0028] Fig. 6 gegenübergestellt einer LED mit Übergitter aus einer Heterogrenzflächenschichtfolge mit gleich großer effektiver Wirkfläche
- 37 [0029] Fig. 1 zeigt die stufenförmige Stromausbreitung in einer Heterogrenzflächenschichtfolge 2 von einer Austrittsfläche 1a eines Kontaktes 1 hin zu einer Wirkfläche 3a, deren effektiv vom Strom durchflossene Fläche in der vereinfachten Darstellung eindimensional als  $A_{eff}$  verdeutlicht wurde, wobei natürlich die Stromausbreitung im dreidimensionalen Raum der Heterogrenzflächenschichtfolge 2 quasi pyramidenförmig erfolgt. Die Heterogrenzflächenschichtfolge 2 besteht aus einer Abfolge einzelner Halbleiterschichten 2.1 und 2.2 unterschiedlichen Bandabstandes, was durch unterschiedliche Halbleitermaterialien oder unterschiedliche Kompositionen, also Mischungsverhältnisse eines Mischkristalls hervorgerufen wird. Dabei bildet sich jeweils in einer Schicht 2.1 an der Seite zur anderen Schicht 2.2 eine Majoritätsladungsträgeranreicherung und damit ein Stromkanal 2.3 aus. Ladungsträger kommen somit in ein Gebiet sehr guter Leitfähigkeit, welches jeweils gefolgt wird durch ein Gebiet schlechterer Leitfähigkeit, so daß der Strom sich nicht geradlinig ausbreitet sondern seitlich abdrifft und so die Stromausbreitung erheblich verstärkt wird.
- 38 [0030] Fig. 2 zeigt im Vergleich die Stromausbreitung in einer herkömmlichen Fenster-Halbleiterschicht gleicher Dicke bzw. Tiefe d. Die Stromausbreitung erfolgt kontinuierlich und erreicht bei der gleichen Dicke d nur eine gegen-

über der in Fig. 1 gezeigten deutlich kleineren effektiven  $A_{eff}$  Fläche der Wirkfläche 3a. Die Halbleiterschichtanordnung 2a ist gegenüber der in Fig. 1 gezeigten aus einer einzigen, dicken Halbleiterschicht, während in der Halbleiterschicht 2b der Fig. 1 gleicher Dicke d vier Heterogrenzflächenschichtfolgen ( $4 \times 2.1 \& 2.2$ ) angeordnet sind.

[0031] Die Abscheidung dieser Schichtdicken kann bspw. mittels metallorganischer Gasphasenepitaxie (MOVPE) zuverlässig erfolgen.

[0032] Fig. 3 zeigt das Bändermodell und Leitfähigkeitsverlauf einer Heterogrenzflächenschichtfolge. Die in Fig. 3a dargestellte Heterogrenzflächenschichtfolge weist je eine Schicht 2.1 mit niedrigem und je eine Schicht 2.2 mit dem gegenüber höherem Bandabstand ausgehend von der Austrittsfläche 1a des Kontaktes 1 hin zur Wirkfläche 3a auf. Fig. 3b verdeutlicht die unterschiedliche Leitfähigkeit, die zwischen einer sehr guten Leitfähigkeit  $S_{high}$  in der Anreicherungszone und einer recht schlechten Leitfähigkeit  $S_{low}$  in den Verarmungsgebieten schwankt. Zwar kann die durchschnittliche mittlere Leitfähigkeit gegenüber einer gleichdicken einfachen Halbleiterschicht durch diese Abfolge sich leicht erhöhen, was jedoch bei entsprechend begrenzter Anzahl von Heterogrenzschichtfolgen vernachlässigbar ist. Demgegenüber entsteht durch die lokale, sich immer auf die gesamte Heterogrenzfläche erstreckende Erhöhung der Leitfähigkeit eine starke Aufspeizung der Stromausbreitung, die nur unwesentlich davon beeinflußt wird, ob sich eine Verarmungszone oder das Halbleitermaterial mit quasi mittlerer Leitfähigkeit anschließt. Aus Fig. 3c kann man im Bändermodell, bestehend aus dem Energieniveau des Valenzbandes  $E_V$ , des Fermi-Niveaus  $E_F$  und des Leitungsbandes  $E_L$ , noch deutlicher die Abfolge von Anreicherungs- und Verarmungszonen erkennen. Beide Halbleiterschichten 2.1 und 2.2 sind in diesem Ausführungsbeispiel p-dotiert (Fermi-Niveau in der Nähe des Valenzbandes).

[0033] Fig. 4a zeigt im Detail noch einmal die Stromausbreitung an einer Heterogrenzschicht und Fig. 4b die entsprechende Diskontinuität des Bändermodells und die Majoritätsladungsträgeranreicherung. So wird in Fig. 4a die laterale Stromausbreitung (4) innerhalb der Heterogrenzfläche der normalen Stromausbreitung (5) ohne den zweidimensionalen Stromkanal gegenübergestellt. Deutlich erkennbar ist dabei, daß sich auf der Seite der Heterogrenzfläche mit der Anreicherung von Majoritätsladungsträgern in unmittelbarer Nähe zur Heterogrenzfläche eine seitliche Stromdrift einstellt. Betrachtet man das Bändermodell gemäß Fig. 4b dazu, so wird die Diskontinuität der Majoritätsladungsträger, hier die Anreicherung der Elektronen bei n-dotierten Materialien deutlich. Die Diskontinuität (6) kann dabei sogar das Fermi-Niveau ( $E_F$ ) erreichen und überschreiten, wodurch die Anzahl der freien Majoritätsladungsträger stark ansteigt. Jedoch bereits bei einer geringeren Diskontinuität kann eine laterale Stromausbreitung an der Heterogrenzfläche grundsätzlich beobachtet werden, wenn auch nicht so stark wie bei einem zweidimensionalen frei beweglichen Elektronengas. Die der Anreicherungszone 6 gegenüberliegende Verarmungszone 7 hat keinen wesentlichen Einfluß auf die Stromausbreitung, erhöht letztlich nur geringfügig den Gesamtwiderstand der Schichtenfolge.

[0034] Die Fig. 5 und 6 ermöglichen noch einmal den Vergleich zweier annähernd wirkungsgleicher Halbleiter-schichtanordnungen zur Stromausbreitung, einerseits die dicke Fensterschicht 2a in Fig. 5 und dem gegenüber die Heterogrenzflächenschichtfolge 2b, beide in der Anwendung für eine lichtemittierende Halbleiterdiode. Die Schichten im aktiven Bereich 3 stimmen weitgehend überein. So sind die obere Mantelschicht 3.1, die aktive Zone 3.2, die untere Mantelschicht 3.3, die Reflexionsschicht 3.4 und das Sub-

strat 3.5 identisch. Einzig die Übergangsschicht 3.0 wurde zur Gitteranpassung zur Heterogrenzflächenschichtfolge 2b eingefügt. Bei den in den Fig. 5 und 6 handelt es sich als Ausführungsbeispiel um AlGaInP-LED-Anordnungen, die 5 gitterangepaßt auf einem GaAs-Substrat (3.5) abgeschieden wurden. Angrenzend an das Substrat befindet sich eine Reflexionsschicht 3.4, ein sogenannter Bragg-Reflektor aus abwechselnden  $(Al_xGa_{1-x})_3As$ -Schichten mit n-Dotierung verschiedener Komposition. Die einzelnen Schichten des 10 Bragg-Reflektors sind jeweils  $\lambda/4$ -dick, wobei  $\lambda$  die Wellenlänge des emittierten Lichts ist, so daß es zu einer Reflexion des in Richtung des Substrats abgestrahlten Lichtanteils kommt. Dieser Effekt wird von Murtaza u. a. in IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 31, no. 10, Oct. 1995, S. 1819 ff. grundlegend beschrieben.

[0035] Die untere Mantelschicht 3.3 der LED besteht sowohl in Fig. 5 als auch in Fig. 6 aus gitterangepaßtem  $(Al_yGa_{1-y})_3InP$ , welches ebenfalls n-dotiert ist. Die Komposition y wird so gewählt, daß der Bandabstand bzw. die Energie- 20 lücke der Mantelschicht 3.3 höher als die der aktiven Zone 3.2 bzw. des emittierten Lichtes ist, um für dieses quasi durchlässig zu sein. Die aktive Zone 3.2 selbst ist in diesen Ausführungsbeispielen undotiert und kann aus einer einzelnen Schicht aus  $(Al_zGa_{1-z})_3InP$  oder aus  $(Al_qGa_{1-q})_3InP$  25 Quantenfilmen mit  $(Al_bGa_{1-b})_3InP$ -Barrieren bestehen, wobei  $0 \leq a \leq b \leq 1$  gilt. Darauf befindet sich die obere Mantelschicht 3.1 aus gitterangepaßtem  $(Al_yGa_{1-y})_3InP$  mit höherem Bandabstand als die aktive Zone 3.2 vergleichbar der unteren Mantelschicht 3.3, jedoch p-dotiert.

[0036] Als spezielle Ausgestaltung der Heterogrenzflächenschichtfolge 2b ist ein Übergitter aus p-dotiertem GaP gefolgt von AlP gezeigt. Da dieses Materialsystem eine kleinere Gitterkonstante als GaAs bzw.  $(Al_xGa_{1-x})_3InP$  besitzt, wird zunächst eine Übergangsschicht 3.0 aus GaP dünn aufgewachsen, in der sich die neue Gitterkonstante einstellen soll. Dann wird die Heterogrenzflächenschichtfolge 2b als Übergitter in wechselnden paarweisen Schichten aus GaP und AlP, jeweils p-dotiert aufgebracht.

[0037] Die laterale Stromausbreitung ist durch diese Heterogrenzflächenschichtfolge 2b gegenüber der in Fig. 5 in ihrer Dicke annähernd proportional dargestellten Fensterschicht 2a aus GaP, p-dotiert, so stark verbessert, daß diese dicke Fensterschicht entfallen kann.

[0038] Hinzuweisen ist auf die einfache Realisierung dieser Heterogrenzflächenfolge 2b aus GaP und AlP, da die chemischen atomaren Grundbestandteile (Ga, Al, P) Stoffe bereits für die Herstellung der anderen Halbleiterschichten (aktive Schicht weist alle diese Grundbestandteile auf) zur Verfügung stehen und somit keine Anpassungen außer der entsprechenden Ansteuerung der Epitaxie durchgeführt werden müssen. Grundsätzlich können auch die Heterogrenzschichten auch aus unterschiedlichen Kompositionen eines Mischkristalls bestehen, sofern sich an der Heterogrenzfläche die erforderliche Banddiskontinuität einstellt. 55 Die Grundbestandteile müssen auch nicht alle in einer einzigen Schicht gemeinsam auftreten, sondern nur für den Epitaxieprozeß insgesamt, was durch das Auftreten in mehreren unterschiedlichen Schichten genauso gegeben ist.

#### Patentansprüche

1. Verwendung einer Übergitterstruktur (2b) aus einer Mehrzahl von hintereinander angeordneten Heterogrenzflächenschichtfolgen zur Herstellung einer lichtemittierenden Halbleiterdiode (LED) mit verbesserter lateraler Stromausbreitung zwischen einer Austrittsfläche (1a) eines Frontkontakte (1) und einer parallel dazu angeordneten Wirkfläche (3a) einer optisch

aktiven Schicht (3), wobei die Stromaustrittsfläche (1a) kleiner als die Wirkfläche (3a) ist und jede aus zwei Halbleiterschichten (2.1, 2.2) bestehende Heterogrenzflächenschichtfolge eine ausreichende Banddiskontinuität mit einer Anreicherungszone (2.3) für die Majoritätsladungsträger zur Bildung eines lateralen Stromkanals (2.3) in einer der die Heterogrenzflächenschichtfolge bildenden Halbleiterschicht (2.1) aufweist und die Bandabstände der Heterogrenzflächenschichtfolgen ein höheres Energieniveau aufweiten als die optisch aktive Schicht (3).

2. Verwendung nach Anspruch 1, bei der die Halbleiterschichten (2.1, 2.2) der Heterogrenzflächenschichtfolge derart erzeugt werden, daß das die Anreicherungszone (2.3) bildende Majoritätsladungsträgerband im Bereich der Grenzschichten eine wenigstens das Fermi-Niveau der Halbleiterschichten (2.1, 2.2) erreichende Bandverbiegung aufweist.

3. Verwendung nach Anspruch 1 oder 2, bei der die Banddiskontinuität des Majoritätsladungsträgerbandes an der Heterogrenzfläche mindestens 150 meV (Millielektronenvolt) beträgt.

4. Verwendung nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der die Dicke jeder der Halbleiterschichten (2.1, 2.2) der Heterogrenzflächenschichtfolgen zwischen 20 nm und 200 nm liegt, wobei die Gesamtdicke der Heterogrenzflächenschichtfolgen 5 m nicht übersteigt, vorzugsweise um 1 µm ist.

5. Verwendung nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der die beiden Halbleiterschichten (2.1, 2.2) der Heterogrenzflächenschichtfolgen aus Materialien oder Materialgemischen gebildet werden, deren chemische atomare Grundbestandteile denjenigen der darunter liegenden Halbleiterschichten entsprechen.

6. Verwendung nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der sowohl die Halbleiterschichten (2.1, 2.2) der Heterogrenzflächenschichtfolgen als auch die optisch aktive Halbleiterschichtanordnung (3) aus III/V-Mischkristallsystemen erzeugt werden.

5

10

15

25

30

35

40

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

45

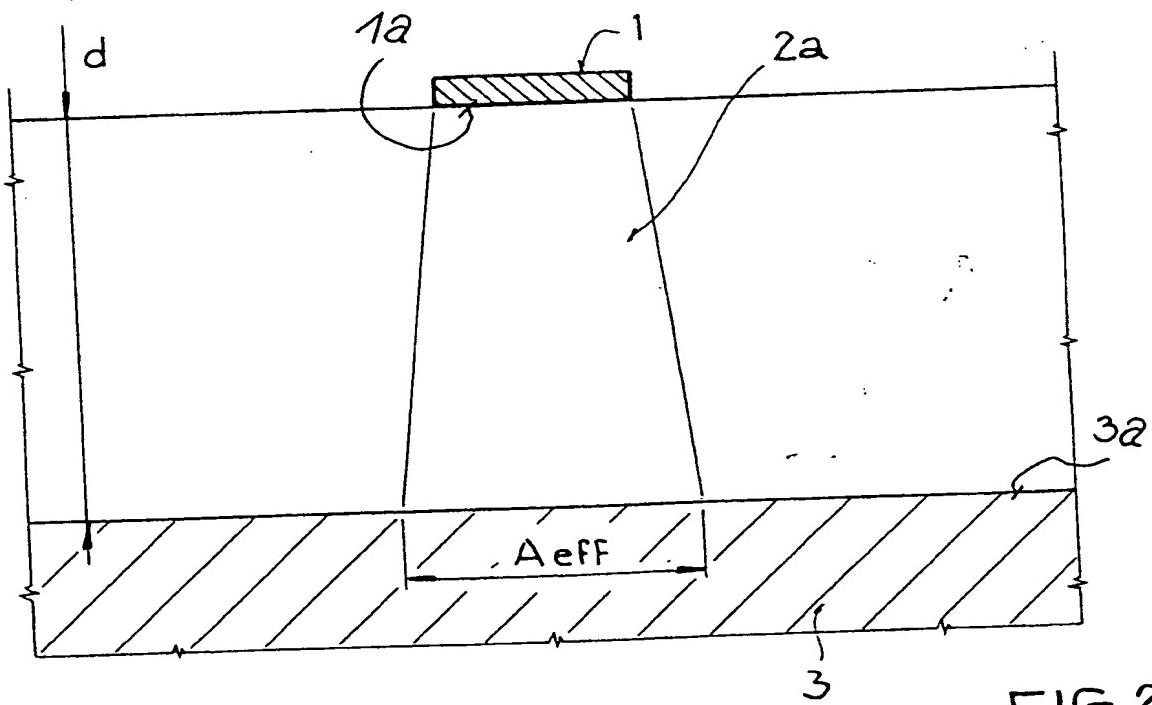
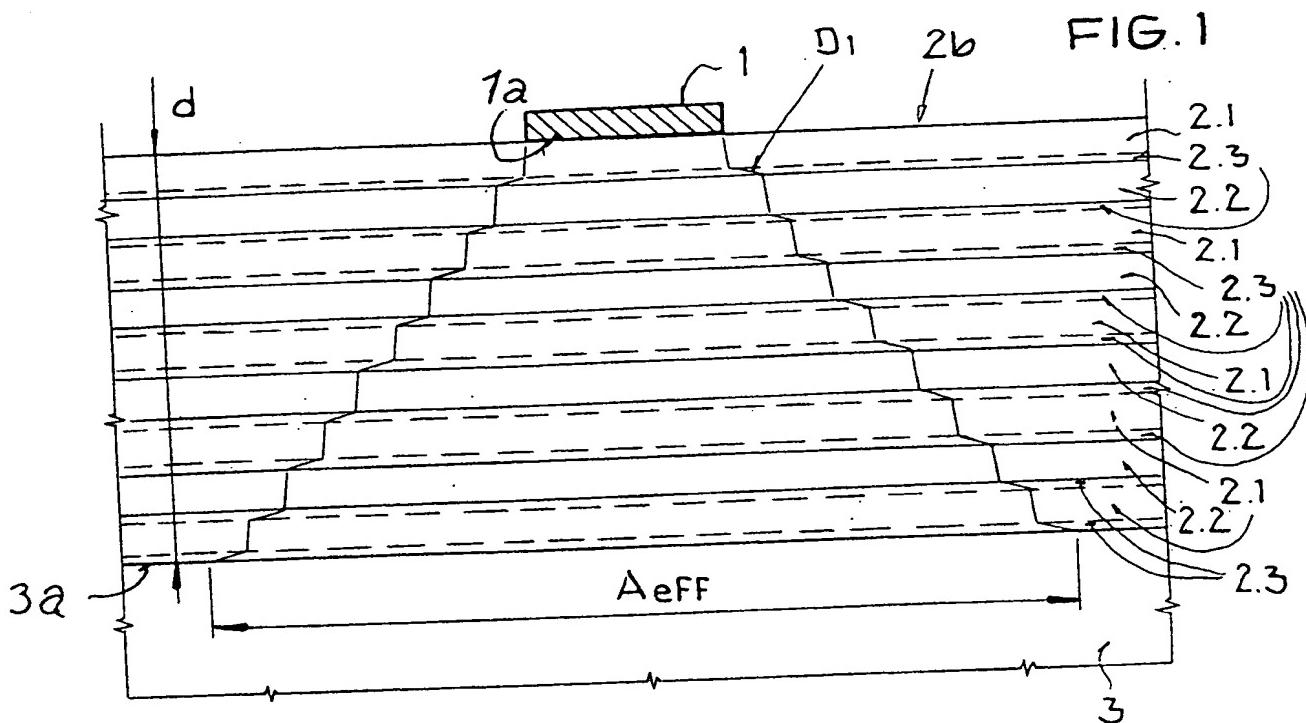
50

55

60

65

**- Leerseite -**



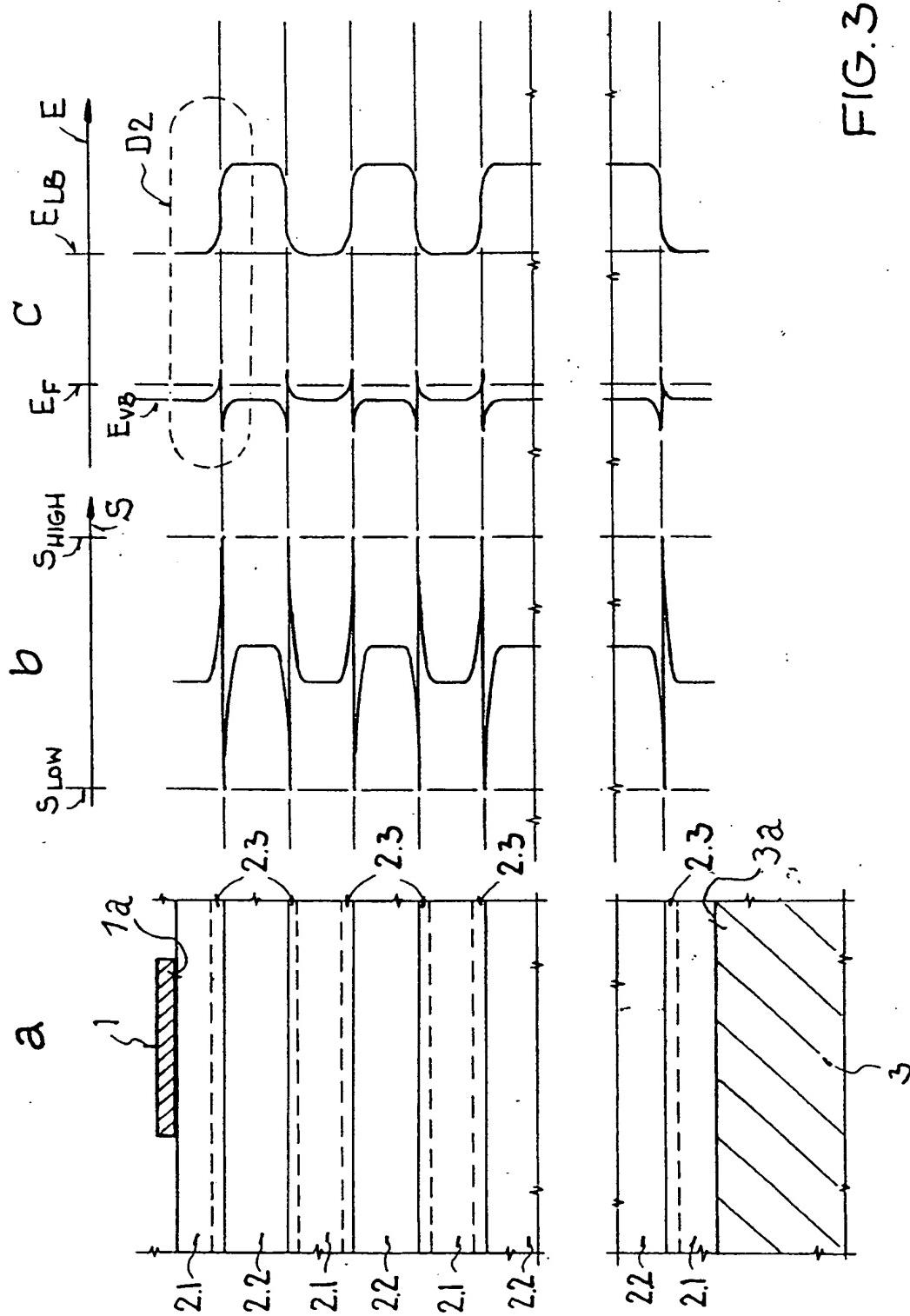


FIG. 3

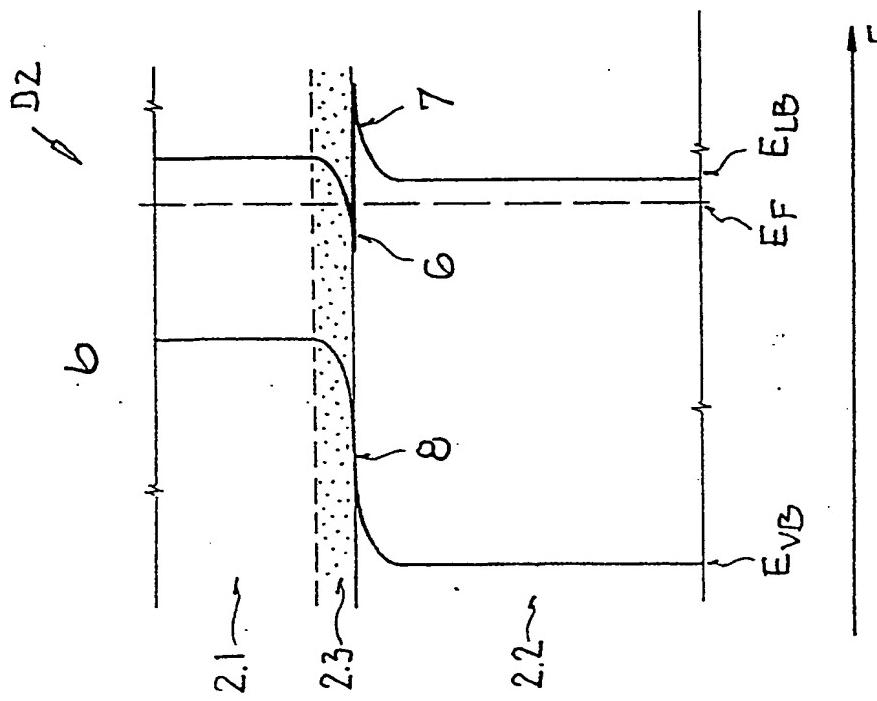
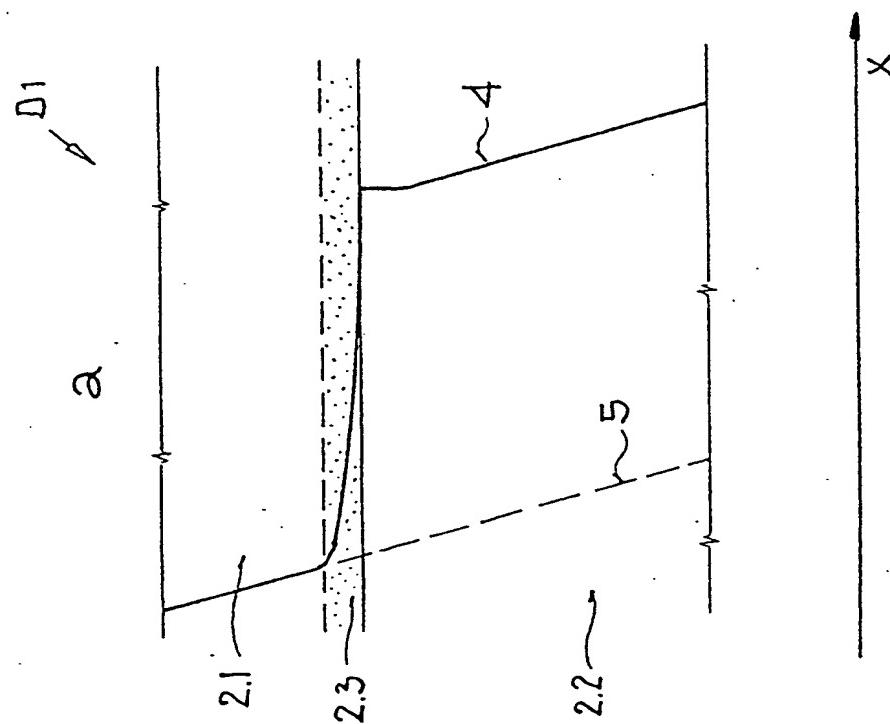


FIG. 4



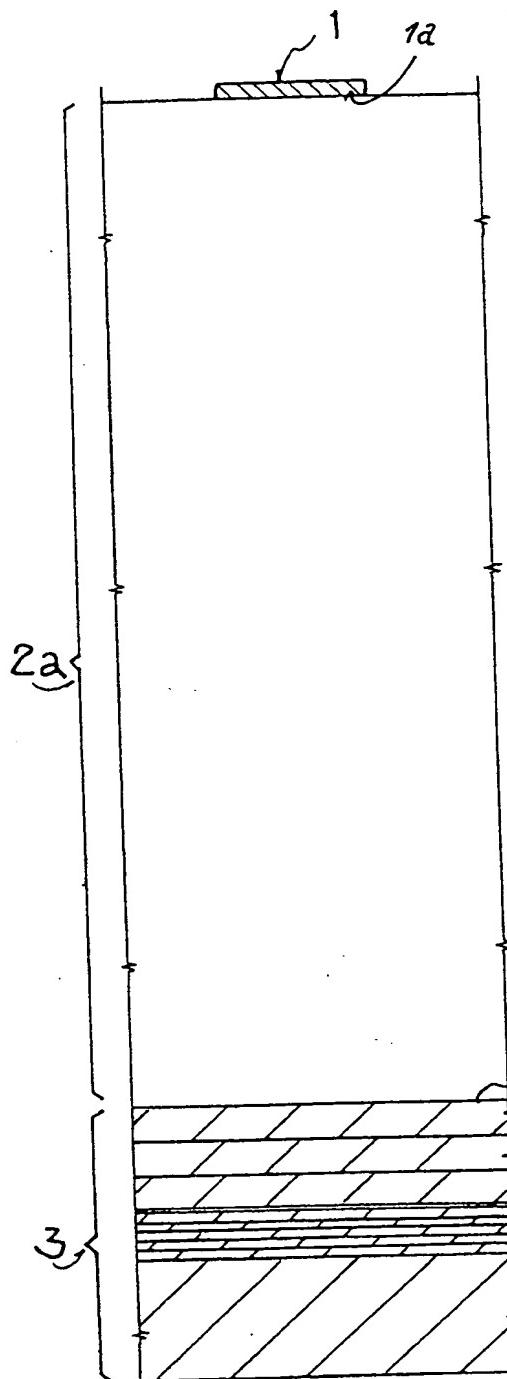


FIG. 5  
St.d.T

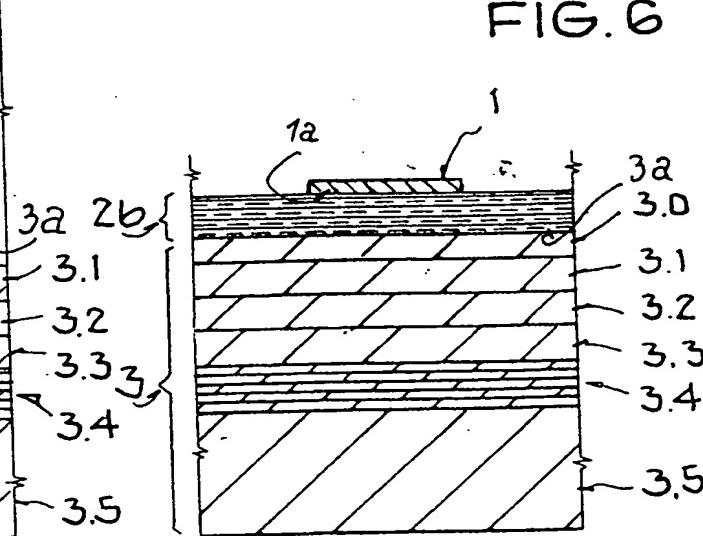


FIG. 6